

FAX RECEIVED
FEB 06 2003
GROUP 3700

FROM Daniel P. Lent
Phone 212-521-5449
Fax 212-521-5450
Date February 4, 2003

Original will follow via: ☐ Regular Mail ☐ Overnight Delivery ☐ Messenger ☒ None

Daniel P. Lent

PLEASE NOTE: The information contained in this facsimile message may be privileged and confidential, and is intended only for the use of the individual(s) or entity named above, who has been specifically authorized to receive it. If the reader is not the intended recipient, you are hereby notified that any dissemination, distribution or copying of this communication is strictly prohibited. If you have received this communication in error, please notify us immediately by telephone and return all pages to the address shown below. Thank you.

reedsmith.com

27. DGaO-Schule: Mikrooptik

(Physikalisch-technische Grundlagen, Design, Herstellung, Prüfung und Anwendungen von Mikrooptik)

Termin 14.-17. 09. 1999

Ort: Fraunhofer-Institut für Angewandte
Optik und Feinmechanik - IOF Jena
Schillerstraße 1, 07745 Jena

FAX RECEIVED
FEB 06 2003
GROUP 3700

Program m

Dienstag, 14. 09.

- | | |
|---------------|--|
| 08.15 Uhr | Einführung
(Prof. Karthe, Fraunhofer-Institut für Angewandte
Optik und Feinmechanik - IOF,
Prof. Kowarschik, Friedrich-Schiller-Universität Jena - FSU) |
| 08.30-10.00 V | Grundlagen der Mikrooptik
(Prof. Karthe, IOF) |
| 10.30-12.00 V | Mess- und Prüftechnik
(Prof. Schwider, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg - FAU) |
| 13.30-14.00 | Einteilung Praktikum
(Prof. Karthe) |
| 14.00-14.45 S | Mess- und Prüftechnik
(Prof. Schwider, FAU/Dr. Notni, IOF/Dr. Zöllner, FSU) |
| 15.00-16.00 V | Anwendungen
(Prof. Bartelt, Institut für Physikalische Hochtechnologie Jena - IPHT) |

Mittwoch, 15. 09.

- | | |
|---------------|---------------------------------|
| 08.30-10.00 S | Anwendungen
(IOF, IPHT, FSU) |
| 10.30-12.00 | 1. Praktikumsversuch |
| 13.30-15.30 | 2. Praktikumsversuch |
| 16.00-18.00 | 3. Praktikumsversuch |

Inhaltsverzeichnis

Vorlesungen/Seminare

	Seite
0 Vorbemerkungen	1
I Grundlagen der Mikrooptik Vorlesung W. Karthe, Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik Jena	2
II Mess- und Prüftechnik für Mikrooptik Vorlesung/Seminar J. Schwider, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	8
III Anwendungen der Mikrooptik Vorlesung/Seminar H. Bartelt, Institut für Physikalische Hochtechnologie Jena	21
IV Design refraktiver mikrooptischer Elemente Vorlesung P. Schreiber, Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik Jena	28
V Mikrooptik in der Messtechnik Vorlesung H. J. Tiziani, Universität Stuttgart	37
VI Herstellung: Lithographische Verfahren Vorlesung E.-B. Kley, Friedrich-Schiller-Universität Jena	44
VII Herstellung: Bauelemente Vorlesung A. Bräuer, Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik Jena	50

- VIII Mikrooptik für optische Speicher 58
Vorlesung
T. Tschudi, Universität Darmstadt
- IX Design diffraktiver optischer Elemente 64
Vorlesung
Wyrowski, Friedrich-Schiller-Universität Jena

Vorbemerkungen

Die Mikrooptik hat sich in den letzten Jahren als ein wesentliches Teilgebiet der modernen Optik etabliert. Mikrooptische Komponenten und Systeme finden zunehmend Anwendung in der Kommunikationstechnik, der Sensorik, der Messtechnik und der Unterhaltungselektronik. Dabei spielt der Systemaspekt eine immer größere Rolle, denn mikrooptische Bauelemente können ihre Funktionen in der Regel erst im Zusammenwirken mit anderen Komponenten optimal ausführen. In der Mikrooptik findet sich der auch in anderen Gebieten von Wissenschaft und Technik zu beobachtende Trend zur Miniaturisierung wieder, seien es nun Linsen mit sehr kleinen Abmessungen oder diffraktive Elemente mit Sub-Mikrometer-Strukturen. Die dafür erforderlichen vielfältigen Herstellungs- und Charakterisierungsverfahren haben inzwischen bereits einen hohen Stand erreicht.

Die 27. DGaO-Schule Optik unter dem Thema "Mikrooptik" soll dieser Entwicklung Rechnung tragen. In einer Mischung aus Vorlesungen, Seminaren und Praktikumsversuchen werden die wichtigsten Aspekte der Mikrooptik von den physikalisch-technischen Grundlagen über Design, Herstellung und Prüfung bis hin zu speziellen Anwendungsfällen behandelt.

Die Autoren sind Mitarbeiter der Friedrich-Schiller-Universität Jena, des Fraunhofer-Institutes für Angewandte Optik und Feinmechanik Jena, der Fachhochschule Jena, des Institutes für Physikalische Hochtechnologie Jena, der Technischen Universität Darmstadt, der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der Technischen Universität Stuttgart, ausnahmslos alle schon über lange Zeit aktiv auf ihren Fachgebieten tätig.

Diese Schrift enthält in zusammengefasster Form die Inhalte der Vorlesungen und Seminare sowie Kurzfassungen der Praktikumsversuche.

Grundlagen der Mikrooptik

Miniaturisierung gab es in der Optik schon immer, ob in natürlichen oder künstlichen Systemen: Mikroskopobjektive, Pinholes, Gitterstrukturen, Hologramme, Insektenaugen.

Aber erst in den letzten Jahren hat sich mit der Verfügbarkeit moderner Verfahren der Mikrotechnik und den durch die Entwicklung optoelektronischer Bauelemente (Halbleiterlaser, Detektoren) sich ergebenden Anwendungsmöglichkeiten und daraus resultierender Anforderungen an optische Funktionselemente die Entwicklung in Richtung weiterer Miniaturisierung stark beschleunigt. Der Begriff **Mikrooptik** wurde geprägt.

Wir wollen unter dem Begriff **Mikrooptik** Bauelemente und miniaturisierte optische Subsysteme verstehen, die für dreidimensionale Wellenausbreitung, für planar geführte Wellen (Integrierte Optik) und als Lichtleitungssysteme (unter Einschluss von Faseroptik) eingesetzt werden.

In der Mikrooptik gelten die Gesetze der Optik uneingeschränkt. Die Miniaturisierung führt allerdings dazu, dass Näherungen, die für makroskopische Optiken gelten, häufig nicht mehr anwendbar sind. So unterteilt man aus praktischen Gründen zwar nach wie vor in refraktive, diffraktive und reflektive Mikrooptik, muss sich dabei aber bewusst sein, dass bei Bauelementeabmessungen unter einigen 10 μm die Beugungseffekte bei refraktiven Bauelementen nicht mehr einfach als Näherung behandelbar sind und bei diffraktiven Elementen (z. B. Zonenlinsen mit nur noch sehr wenigen Zonen) die Wirkung der Brechzahlverteilung erheblich ist. Vom theoretisch-physikalischen Standpunkt aus wären also die Maxwell-Gleichungen unter Beachtung der realen Randbedingungen zu lösen.

Miniaturisiert man die Strukturen weiter bis zu Abmessungen im Bereich der Wellenlänge oder darunter, werden Quanteneffekte wirksam. Die Eigenschaften für den Transport von Photonen in periodisch und quasiperiodisch strukturierten Medien werden dabei so verändert, dass neue Bauelementefunktionen möglich werden (photonic band gap structures).

Skalierungseffekte in der Optik führen aber auch zu Veränderungen in der Bedeutung von Eigenschaften optischer Elemente und Systeme. Aberrationen verringern sich proportional dem Skalierungsfaktor bei Miniaturisierung, ihr Einfluss nimmt also ab und die Anforderungen an Herstellungsverfahren von Mikrolinsen bezüglich geometrischer Form werden geringer. Andererseits verringert sich das Orts-Bandbreite-Produkt quadratisch mit dem Skalierungsfaktor, d. h. das Auflösungsvermögen sinkt.

In der Tabelle sind die Skalierungsgesetze für einige optische Größen für Linsen zusammengestellt (p Skalierungsparameter).

27. DGaO-School: Micro Optics**(Physical-Technical Foundation, Design, Manufacture, Examination and Use of Micro Optics)****Dates: September 14-17, 1999****Place: Fraunhofer Institute for Applied Optics and Fine Mechanics –IOF Prof. Kowarschik,
Friedrich Schiller University Jena –FSO****Program****Tuesday 9/14****8:15 am****Introduction****Prof. Karthe - IOF****Prof. Kowarschik -FSU****8:30 – 10:00 am****Foundation for Micro Optics****Prof. Karthe – IOF****10:30 –12:00****Measurement and Examination Technique****Prof. Schwider – FAU****1:30 – 2:00 p.m.****Planning Practicum****Prof. Karthe****2 – 2:45 p.m.****Measurement and Examination Technique****Prof. Schwider – FAU****Dr. Notni – IOF****Dr. Zöllner – FSU****3 – 4:00 p.m.****Applications****Prof. Bartelt – IPHT**

#150031

Wednesday, 9/15

8:30 - 10:00 am Applications (IOF, IPHT, FSU)

10:30 - 12:00 1. Practicum Experiment

1:30 - 3:30 p.m. 2. Practicum Experiment

4:00 - 8:00 p.m. 3. Practicum Experiment

Contents

Presentation/Seminars

0. Preliminary Remarks
- I. Foundation of Micro Optics
Presentation
Karthe et al.
- II. Measurement and Examination Techniques for Micro Optics
Presentation Seminar
Schwider et al.
- III. Applications of Micro Optics
Presentation Seminar
Bartelt et al.
- IV. Design of Refractive Micro Optics Elements
Presentation
P. Schreiber
- V. Micro Optics in Measurement Techniques

#150031

Prescntation

H. Tizani

VI. Manufacturing: Lithographic Methods

Presentation

E. -B. Kley

VII. Manufacture: Component Elements

Prscntation

A. Bräuer

VII. Micro Optics for Optical Storage

Prscntation

T. Tschudi

VIII. Design of Diffractive Optical Elcments

Prscntation

Wyrowski

PRELIMINARY REMARKS

Micro optics has established itself as an important area of modern optics. Microoptic components and systems are finding increasing applications in communications techniques, sensors measurement techniques and communications electronics. The systems aspect plays an ever-greater role, for micro optical component elements can be optimally realized, as a rule, only in functional conjunction with other components. In micro optics, we also find in other areas of science and technology the observed trend for miniaturization, whether it will be lenses with very small measurements or diffractive elements with sub-micrometer structures. The required, multi-aspect manufacturing and characterizing methods for the micro optics have already reached a very high level.

The 27 DGaO-School Optic under the theme "Micro Optics" should show this development calculation. In a mixture of presentations, seminars and practicum experiments, the most important aspects of micro optics will be dealt with from the physical-technical basics of design, manufacture and testing including special application situations.

The authors are co-workers of the Friedrich-Schiller-University of Jena, etc, and without exception have long been active in their technical areas.

This writing contains in summary form the content of presentations and seminars as well as short summaries of practicum experiments.

FAX RECEIVED
FFR 0 6 2002
GROUP 3700

FOUNDATION OF MICROOPTICS

There was always miniaturization in optics, whether in natural or artificial systems: microscope objectives, pinholes, gate structures, holograms, insect eyes.

Only in recent years has the availability of modern methods of microtechniques and, by development of optical component elements (semiconductor lasers, detectors) has the application possibilities and the resulting demands on optical function elements strongly accelerated development in the direction of further miniaturization. The concept of Micro Optics has been formed.

We want to understand, under the concept of Micro Optics, component elements and miniaturized optical subsystems, which are used for three dimensional wave distribution, for plane guided waves (integrated optics) and as light guiding systems (under inclusion of their optics).

In Micro Optics the laws of optics remain unrestricted. The miniaturization leads moreover to the fact that approximation, which apply for macroscopic optics, is highly unusable. So one subdivides for practical reasons as previously into refractive, diffractive and reflective Micro Optics, but one must be aware that with component elements measuring under $10\text{ }\mu\text{m}$, the bending effect for refractive elements no longer can be handled as approximations and with diffractive elements (e.g. Zone lenses with only very few zones) the effect of refraction index distribution is present. From the theoretical-physical standpoint, the Maxwell equations must be solved under observation of real edge conditions.

For miniaturization where the structure of the measurements is in the range of wavelengths or under, quantum effects are present. The characteristics for the transport of photons in periodic and quasi-periodic structured media are so changed, that new component elements are possible (photonic band gap structures).

Scaling effects in the optics lead to changes in the meaning of characteristics of optical elements and systems. Aberrations reduce proportionally the scaling factor in miniaturization, its influence also reduces, and the demands on manufacturing methods of microlenses with reference to geometric form are smaller. On the position – bandwidth product, quadratic with the scaling factor, that is, the distribution capacity sinks.

In the table the scaling laws are summarized for some optical lens sizes (ρ scaling parameter).